

## I-26 施工管理に活用できる道路構造物の基本設計情報の構造化

## The structuralization of basic design information of road structures for using at the site management

○有富孝一<sup>1</sup>, 松林豊<sup>2</sup>, 上坂克巳<sup>3</sup>, 柴崎亮介<sup>4</sup>

Koichi Aritomi, Yutaka Matsubayashi, Katsumi Uesaka, and Ryosuke Shibasaki

**抄録:**本研究は、正確さと柔軟性のあるコンパクトな基本設計情報モデルの提案を行うものである。これにより、土木構造物の設計、施工管理にかかる業務効率を改善し、ミスの低減、品質の確保を実現できる。基本設計情報を用いることで、設計段階の座標データを施工現場で有効活用でき、座標データと座標系を一体として交換できる。また、複雑な設計情報を CAD と測量機器の間でデータ交換でき、さらに設計データサイズの縮小が可能となる。

**Abstract:** This research proposes a model of basic design information for more correct, flexible and compact representation of road structures. Using basic design information based on this model, we can not only improve the efficiency of design works of road and the construction management, but decrease mistakes and achieve higher level of quality assurance. The basic design information can also allow using of the coordinate data developed in design phase effectively for the construction works. In addition, coordinate data can be exchanged, together with the definition of coordinate reference system. It makes possible to exchange complex design information between CAD systems and the surveying equipments. To use the data in surveying equipments, the model can make the data size small.

**キーワード:** 土木設計, 施工管理, 基本設計情報, 構造化, CAD, 測量機器, 道路土工, 座標系

**Keywords:** civil design, construction management, basic design information, data model, CAD, survey, road ground work, coordinate systems

## 1. 研究の背景と課題

## (1) 社会的ニーズ

近年、国土交通省が進める CALS<sup>1)</sup>の取り組みとともに、公共事業の建設現場においても電子化が進み、2次元図面が CAD の電子納品情報として交換されることになった。図面や書類の電子化は、情報の転記ミスの防止や資料作成時間の短縮などの業務改善効果が期待されている。電子化による時間短縮は、単調で退屈・ムダな作業時間を減らし、重要な意思決定にかける時間を増やす効果がある。ひいては建設分野全体における情報管理を、設計から施工、維持管理にわたって一貫して管理することで、重大なミスの低減、公共構造

物の品質確保、効率的な施設管理を行うことを目的としている。

着実に電子化が行われているなかで、書類と図面の電子データが先行して普及している。さらに、3次元 CAD の開発が進み、市場規模も製造業を中心に徐々に広がってきており、建設分野における活用が期待されている。

建設分野で期待されている CAD データの活用方法には、つぎのようなものが考えられる。

(ア) 3次元 CAD データを活用したい。CG (コンピュータグラフィックス) を用いた地元説明はわかりやすく、意志決定に要する時間が短縮される効果がある。しかし、CG 用に作成されたデータを施工管理にそのまま活用することはできない。

1: 正会員 学修 国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室・主任研究官  
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1, Tel :029-864-7483, E-mail : aritomi-k86qi@nilim.go.jp)

2: 正会員 国際航業(株)公共ビジネス事業本部 防災情報部 公共ソリューションG・課長  
(〒102-0085 東京都千代田区六番町2)

3: 正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室・室長  
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

4: 正会員 工博 東京大学空間情報科学研究センター・センター長  
(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 生産技術研究所C棟内)

- (イ)受発注者間で3次元データを交換したい。現在発注者に提出するデータは2次元図面である。しかし、設計段階で決まっている座標データは、現場でうまく活用されていない。受発注者間で3次元データを交換することで、施工段階で有効に活用することが期待される。
- (ウ)座標系を交換すべきである。書類に書かれている座標値は、何の座標系に従って記述されているのかを示す情報が欠落していることがある。CADと測量機器のデータ交換や維持管理を効率的に行うためには、前提となる座標系の情報が不可欠である。
- (エ)設計・施工ミスをなくしたい。施工前には必ず設計図面や座標値が合っているかどうか設計チェックを行わなければならない。ただし、複雑な手間と施工管理業務(丁張り、出来形管理)の経験を必要とし、点検測量など準備作業に時間がかかる。
- (オ)分割発注、設計変更、完成図作成を容易に行いたい。2次元CADでは困難な分割発注、設計変更、完成図作成を3次元CADによって容易に行いたい。しかし、3次元CADの普及が進んでも、発注者の業務に対応したCADの開発はまだ十分ではない。

## (2) 既存研究とその課題

つぎに既存研究の方向性とその課題について述べる。

- (ア)国土交通省における建設 CALS の一連の取り組みでは、SXF Lv2, SXF Ver.3形式による標準化が進められている。図形情報の標準化と図形に関連づけて属性情報を一体として格納することにより、システムに依存することなく設計、維持管理に必要な様々な情報を交換し、業務に活用することを目指している<sup>1)</sup>。ただし、現時点で決定されている CALS の標準化における課題は2次元情報、印刷表示が中心となっている。
- (イ)3次元情報を扱うことを前提として、SXF Lv4<sup>1)</sup>, JHDM<sup>2)</sup>, LandXML<sup>3)</sup>, IFC<sup>4)</sup>などオブジェクトデータの研究も進められている。ただし、発注者向けの分割発注、設計変更、完成図作成、及び施工管理で活用することを前提としたプロダクトモデルとして十分ではない。JHDMは、施工された構造物に関する効率的な情報収集、蓄積を想定しており、図面表示や台帳の管理に活用できる。ただし、データサイズの大きさやモデルの複雑さからそのまま測量機器と連携した施工管理に活用することはできない。
- (ウ)蒔苗<sup>5),6)</sup>は道路の線形パラメータと道路構造令

の基準を満足しながら、最適な道路の設計を効率的に行う研究を行った。さらに、道路平面線形パラメータを定義することでリアルタイムに3次元CGを表示し、画面を見ながら容易に設計を修正することができる。ただし、微分関数を用いたパラメトリックな設計手法は、既存設計手法と整合性のある情報交換方式、標準的なデータ形式に対応していない。

- (エ)有富ら<sup>7)~9)</sup>は、CADと測量機器の間でXMLを使った設計情報を交換し、丁張り設置や出来形管理に必要な設計情報を現地の測量機器に搭載して作業できるシステムを開発した。ただし、横断面図を元にして作成された設計データでは、細かい複雑なデータが表現できない。
- (オ)汎用的な3次元データとして、TIN(不等三角網)を用いた3次元モデルが普及している。TINによる地形表現、設計形状表現を実現するソフトウェアは広く市場で普及している。ただし、TINを用いた場合、細かいデータを作成するとデータサイズが膨大になる。

## (3) 研究の目的

本研究は以上のような背景をふまえて、正確さと柔軟性のあるコンパクトな基本設計情報の構築を行うものである。具体的には次のような目的の達成を目指している。

- (ア)設計基準に従った、正確さと柔軟性があり、コンパクトな基本設計情報を用いた(パラメトリックな)設計手法を開発する。パラメトリックな設計手法とは、構造物の諸元が設計パラメータで正確に表現され、かつ柔軟に変更しながら設計することである。さらに基準を参照して設計条件をチェックできる。
- (イ)設計段階の座標データを有効活用する。その際、座標値の元となっている座標系の定義情報を交換する。
- (ウ)分割発注、設計変更、完成図作成を容易に行える。
- (エ)曲線部における連続的な道路横断勾配変化や、土質状況に合わせたのり面勾配の変化など、きめの細かい設計に対応する。
- (オ)標準的な設計データを、CADと測量機器の間で交換する。
- (カ)測量機器でも利用できるように、設計データのサイズを縮小・最適化する。

上記の目的を達成することで、図面、書類などを使

用した従来型の土木施工管理の業務プロセス（分割発注、設計変更など）と扱う情報を見直し、公共事業のプロセスと完成構造物の品質を向上できると期待される。

これらの目的の達成には、以下のことに着目し、データモデルを構築する。

- (ア)パラメトリックな設計手法を前提とした基本的な設計情報を構造化する。
- (イ)共通で交換すべき情報を定義する。
- (ウ)設計寸法、座標値などの前提条件（設計基準、基本座標系）を一体化して情報交換する。
- (エ)分割発注、設計変更、完成図作成を容易に行うことができる情報項目を定義する。
- (オ)データサイズを縮小できるよう最適化する。

本研究において、発注段階の業務改善や施工管理に活用できる情報を構造化するため、つぎの手順で研究を進めた。

- (1) 既存モデルを参考にして、パラメトリックな設計手法に用いる基本設計情報の定義
- (2) LandXML Ver. 1.0 の拡張による情報構造の作成
- (3) アプリケーションの改良（拡張ライブラリの追加）によるパラメトリックな設計手法の実装

## 2. パラメトリックな設計手法に用いる基本設計情報の定義

基本設計情報とは、発注段階や施工管理時に必要となる一体的な情報をまとめて総称したものである。

基本設計情報は、3つの要素（基本座標系、形状構造、設計基準）と2つの種類（基本情報、拡張情報）に分類した（図-1）。

基本設計情報を用いることで、設計から施工段階へ受け渡すべき情報が明確化され、業務プロセスの改善を図ることが可能になる。単調で退屈な作業は機械に任せ、設計者や施工管理担当者は、設計条件や現場条件に合わせて正確かつ柔軟な思考で業務に注力することが期待される。このとき、人が目で見えてわかるだけでなく機械（コンピュータ）が読み込んで効率的に業務を処理できるように情報を構造化することが重要である。

設計基準は、構造物の形状構造が土木構造物の目的を果たすための技術的な仕様を規定している。情報交換を行う際に、図面にかかれた構造物の位置や寸法が「なぜ」その値になっているのか、設計変更を行う際に「どこまで」の範囲なら変更可能なのか、設計者の意図や設計条件を規定するものである。

### (1) 基本座標系要素

基本座標系要素は、平面図における道路中心線上に沿い起点からの累加距離（追加距離とも言う。）を座標値とする座標軸と、それに関連づけられた縦断図の高さ方向の座標軸、中心線と直交する横断方向の座標軸で構成される。また、それぞれの軸がもつ方向、正負の区別、座標値の名称などを同時に定義する。さらに、平面形状や累加距離、横断方向の幅員、縦断上の標高がどのように定義されるかを規定する。基本座標系は、道路構造物の形状構造を配置するための基本となる座標系を与えるものである。

	基本情報 (拡張情報で共通利用されるもの)	拡張情報	
		発注情報	施工管理情報
形状構造要素	道路線形、縦断線形、横断形状、地形、設計境界の定義	分割発注区間 設計(地形)変更 用地境界座標 工事基準点座標	分割発注区間 設計(地形)変更 用地境界座標 工事基準点座標
設計基準要素	幾何構造基準(道路構造令) 道路土工指針 用地境界 工事基準点	設計段階で 追加された情報	出来形計測点 出来形値 出来形管理基準 完成情報
基本座標系要素	道路平面線形座標系 道路縦断線形座標系 道路横断座標系 (オフセット座標系) (勾配座標系)	道路線形上の座標値 定義 (追加距離L、横断幅員 W、縦断高さHの定義)	施工段階で 追加された情報

図-1 道路工事において基本的に流通させるべき基本設計情報の構造化

基本座標系と、その上で定義される個別座標系との階層構造について、図-2に示す。

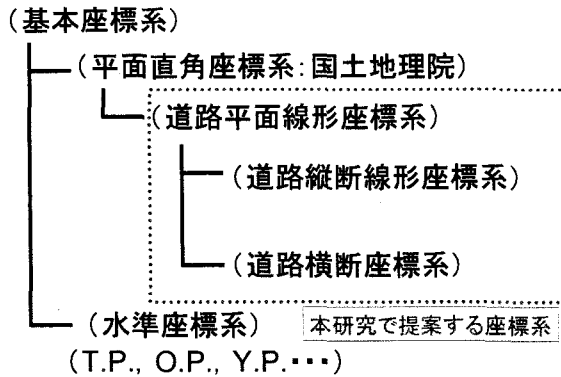


図-2 座標系の階層構造

平面直角座標系は、日本列島を19の領域に分割した基盤目上の国土地理院が定める座標系である。平面直角座標系は、平成14年4月1日に日本測地系から世界測地系に移行した。

道路平面線形座標系は、IP座標値によって平面直角座標系に関連づけられる。たとえば、図-3において、点Aは道路平面線形A上にある道路平面線形座標系[原点(L,W,H)]における相対座標値(L', W', H')と、平面直角座標系における絶対座標値(X, Y, H)のどちらの座標値でも表すことができる。そのためには、道路平面線形座標系と平面直角座標系との座標系間の関係が明確になっていなければならない。

道路平面線形座標系は、道路平面線形上の累加距離L、標高Hによって、道路縦断線形座標系、道路横断座標系と関連づけられている。

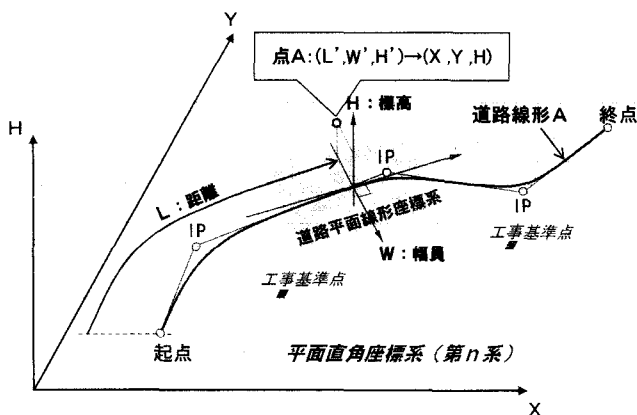


図-3 道路平面線形座標系の概念図

道路縦断線形座標系(図-4)は、道路平面線形上の累加距離と標高をXY軸に持つ座標系である。標高は、

水準基点を基準とするジオイド面上の高さの差で表される。

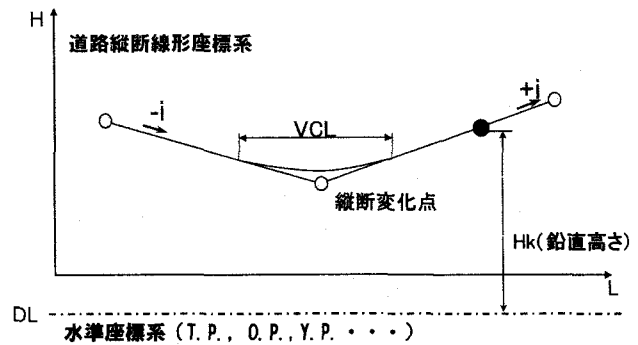


図-4 道路縦断線形座標系の概念図

道路横断座標系(図-5)は、道路平面線形の接線に直角方向の断面上における数学座標系の一種であり、これに関連付くものとして、以下の3つの座標系がある。

- ① オフセット座標系: 道路平面線形座標系上の横断方向であり、追加距離が大きくなる方向(路線方向)に向いて、中心線から右側がプラス、上側がプラス。
- ② 勾配座標系: 道路線形座標系上の横断方向であり、追加距離が大きくなる方向(路線方向)に向いて、勾配が上向きがプラス、下向きがマイナス。
- ③ ローカルオフセット座標系: 中心線からのオフセット量を持ったローカルな座標系。

道路横断座標系

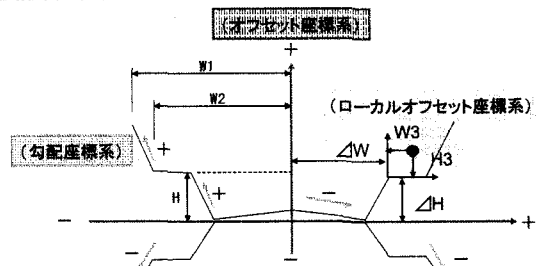


図-5 道路横断座標系の概念図

座標系を定義する理由は、座標系を明確にするためである。任意の複数者間で座標値を情報交換するとき、座標値だけでは何の座標系に基づく座標値なのかわからない。もし、何の座標系に基づく座標値なのかわからせずに他人に情報を渡した場合、受け取った側は与えられた座標値が、いったいどこを指しているのかを正確に知ることは困難である。そこで、図面で情報を交換するときは、緯度経度、住所、座標値などを図面の中に書き入れ、それを参考にして、大まかにどこの座標系における座標値なのかわか推定している。この方法は、明らかに効率的ではなく、信頼のおける情報交換手段ではない。

そこで、相対座標値とともに、相対座標系を一体として渡すことで、座標系に関する問題は解決する。

平面線形概念は、土木技術者間では常識的な概念である。これまで座標系に関する知識は、暗黙的に共通の概念とされてきた。このため、平面線形情報を交換する際、座標系を意識していなかった。しかし、コンピュータを活用し、場所と時間を越えた電子情報の交換が進むに従い、いつ、何の座標系に従ったデータなのか不明になっていくと考える。この場合、土木技術者は何の座標系に基づく座標値なのかを明らかにするため、図面や書類を探すために時間を消費することだろう。基本座標系は、電子データがいつ、何の座標系にしたがって作成されたデータなのかを明示的に交換できるフレームワークとなる。

## (2) 形状構造要素

形状構造要素は、基本座標系を使って定義され、道路の基本骨格形状を決定する。基本骨格形状とは、構造物の中心線、縦断、横断面形状を組み合わせた骨格となる情報である。

図-6は、形状構造要素の概念図である。平面線形要素の代表事例は、道路中心線である。道路中心線はいくつかの直線と曲線(円弧、緩和曲線(クロソイド))の組み合わせからなっている。道路中心線は、IPと呼ばれる交点座標の配置によってその基本位置が規定されている。

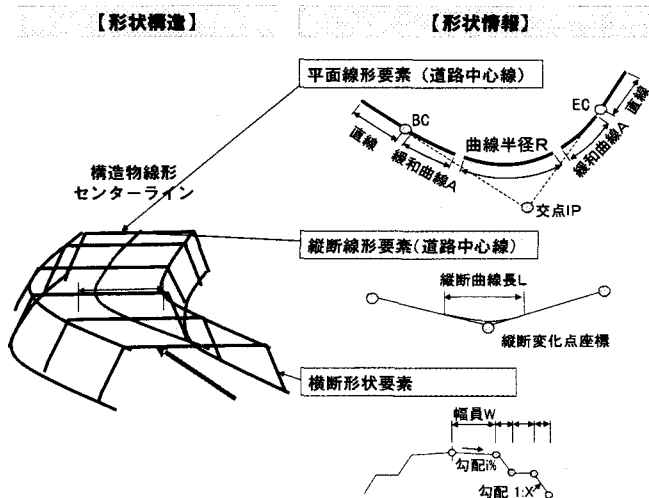


図-6 道路構造物の形状構造要素の概念

図-7は、平面線形概念図である。平面線形は、測地座標系である平面直角座標系面上に存在し、IPと呼ばれる交点座標の間を結ぶ直線の組み合わせを基本骨格を持つ。曲線区間は、必ずIP付近に存在する。

## 形状構造

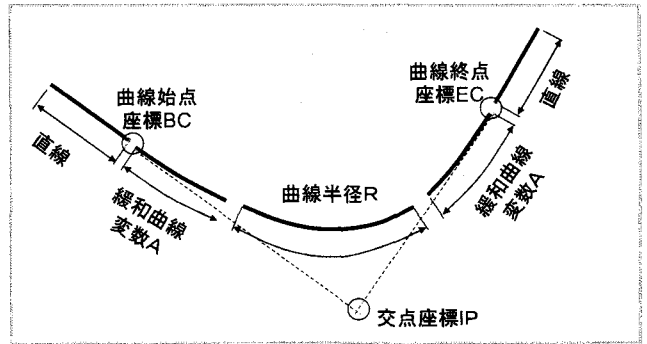


図-7 平面線形を含む形状構造の事例

平面線形の線形要素の特徴は、起点と終点を持ち、起点から終点にかけて距離が正の方向で増加する座標系を持つ。また、任意の起点からの累加距離における、道路平面線形の接線方向に対して直角方向を「横断方向」と呼ぶ。さらに、道路平面線形の線上に沿って、標高を規定する縦断線形が関連付けられている。本研究では、これらの組み合わせにより位置を表す座標系を、道路平面線形座標系と呼ぶ。

図-8は、縦断形状概念図である。縦断形状は、縦断変化点と縦断曲線区間からなり、平面の道路中心線上に沿った標高で表される。

縦断線形は、道路の平面線形上の追加距離Lと、標高Hを規定する。これにより、平面上における任意の点kは、道路線形座標系に従った起点からの追加距離Lk、中心線からの高さHkを持つ。

・道路線形上の点kの座標値  $(L_k, H_k)$

・点kにおける高さ:  $H_k = f(L_k)$

実距離は、平面線形と縦断線形を組み合わせた3次元の追加距離である。

## 形状構造

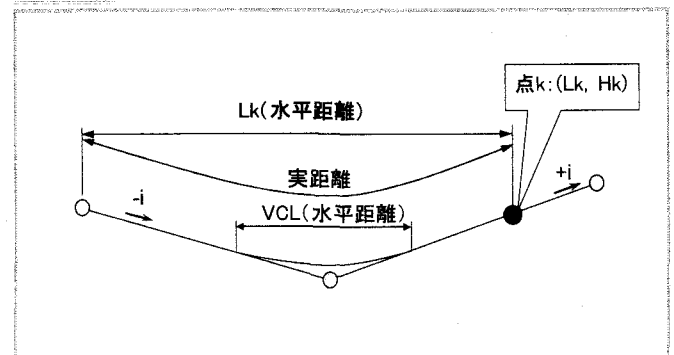


図-8 道路縦断線形を含む形状構造の事例

図-9は、横断形状の概念図である。横断形状は、道路中心線の横断方向（中心線の接線と直角方向）に沿った幅と勾配または高さで表される。

横断構成要素の位置( $W_k, H_k$ )は、隣り合う横断構成要素の形状要素の重ね合わせ（幅、高さの合計）で表すことができる。

形状構造

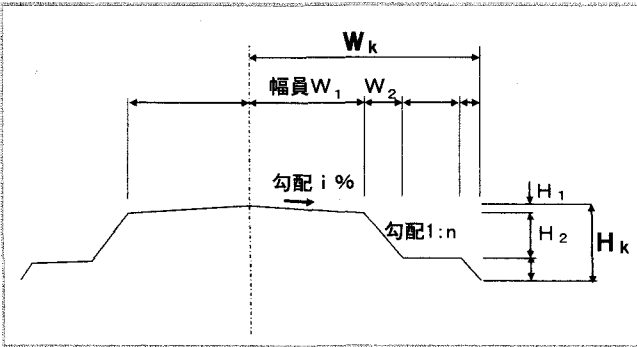


図-9 横断形状を含む形状構造の事例

従来の 20mピッチの横断面図を書く程度の情報であれば、図-9のもので十分である。本論文では、図-9の断面定義パターンをAパターンという。

一方、Aパターンにおいて隣接する横断面要素の数が異なる場合、断面前後のすりつけ形状が問題となる。たとえば、Aパターンのある2つの断面の間において、任意の横断面地点における横断形状の座標値を求めるときに、すりつけ形状の特定のため前後の横断形状要素間の関連付けが必要となる（図-10）。

形状構造

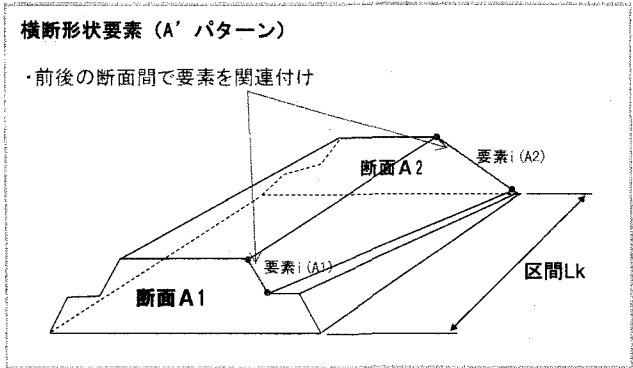


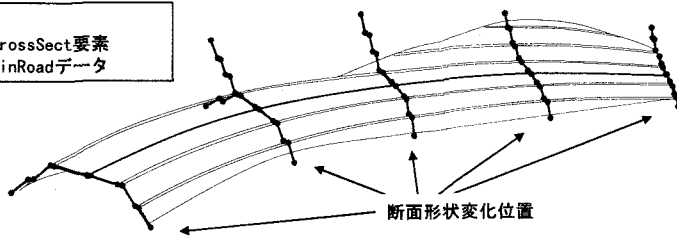
図-10 隣接する横断形状が異なる場合

この場合Aパターンでは、同じ横断形状要素は同じグループに属するという横断形状要素の属性定義を追加する必要がある（A'パターン）。A, A'パターンは横断面図を描くのにわかりやすいモデルである。しかし、複雑な横断形状を記述するには、属性定義が増えて情報量がムダに増える。

そこで、横断形状要素において車道、のり面、小段などの带状の構成要素（ゾーン）ごとに、幅員、高さ、勾配などの属性情報を定義する。これにより、ムダに情報量が増えることを防止することができる。図-11はこのパターンの横断形状要素の概念図でありBパターンと呼ぶことにする。

A) 断面定義パターン

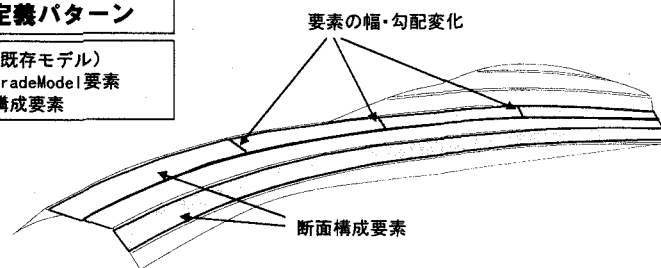
- CMI XML
- LandXML /CrossSect要素
- HICAD⇔UCwinRoadデータ



・幅員・横断勾配・法面形状等の横断形状が変化する毎に断面を定義。

B) 要素定義パターン

- (参考とした既存モデル)
- LandXML /GradeModel要素
  - JH\_DM横断構成要素



・断面を構成する要素ごとに、構造物の属性、要素の並び順、形状（幅・勾配）を定義。

図-11 横断形状の断面定義パターン

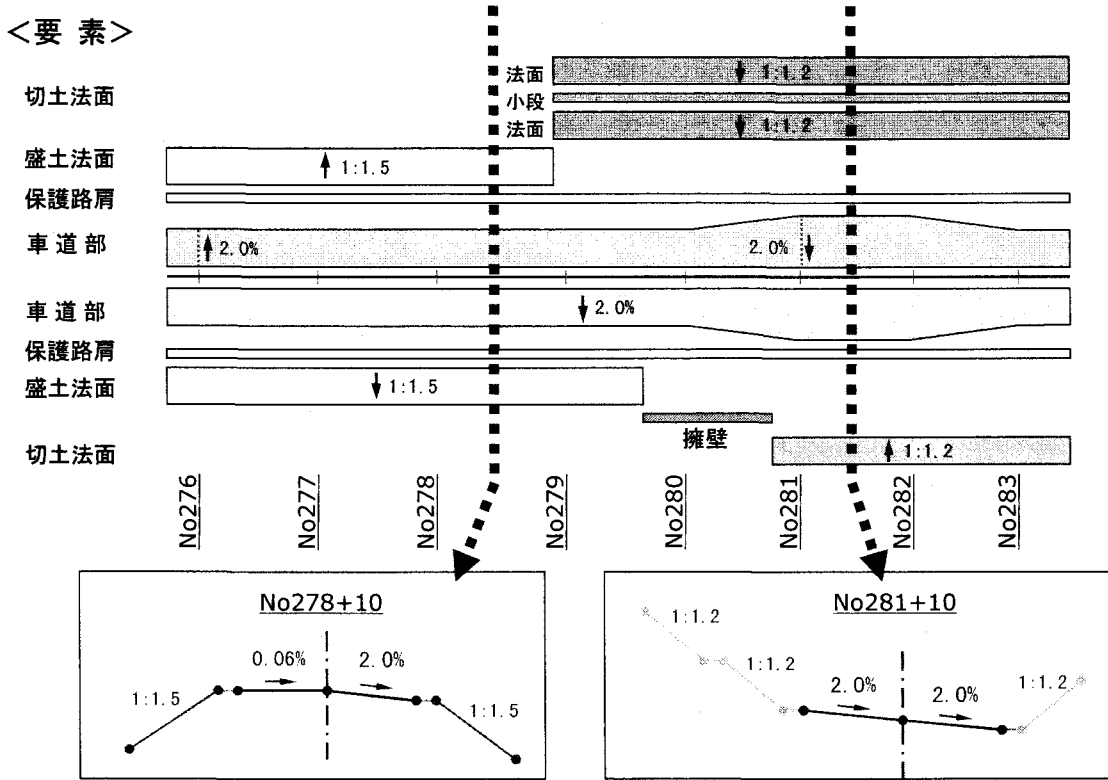


図-12 道路シーケンス図の例

図-12は、B パターンのそれぞれの横断形状要素における断面形状の状態（幅、高さ、勾配）変化を表したものである。ここでは図-12を「道路シーケンス図」と呼ぶことにする。道路シーケンス図では、区間距離に応じて横断形状要素の形状変化が記述でき、車道部の横断勾配がプラスからマイナスへと連続的に変化するすりつけ区間のねじれ形状も記述することができる。また、現場の土質条件に応じて部分的に土工のり面勾配を変化させることもできる。これにより任意の累加距離における横断面図を正確かつ柔軟に作成することが可能となる。このとき設計者は横断面図の作成に時間をとられることなく、土木構造物の性能や設計・現場条件に気を配りながら、設計作業に注力することが期待される。

横断構成要素の開始位置は、隣り合う横断構成要素と位相関係を保持するが、高さ方向に位相をずらすことによって、舗装構成や水路、地下埋設物などの位相関係を保持することも可能である。

B パターンは、LandXML ver. 1.0 の GradeModel を参考にして構築した。GradeModel と B パターンの違いは、区間定義を行う際の情報の固まりのとらえ方の違いにある。GradeModel の特徴はつぎの2つである(図-13)。

- ・前後2断面(Zones)における車道、のり面形状要素（幅、勾配）と区間を定義

・勾配は「i%」のみ。「1:X」形式の勾配は使えない。

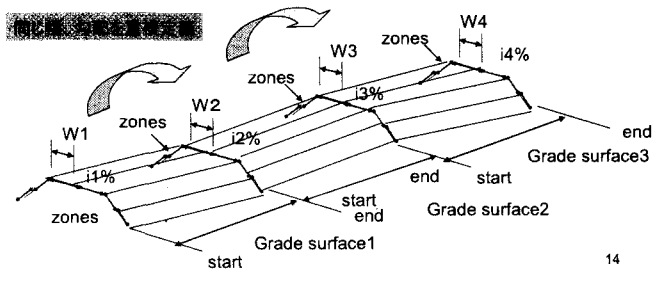


図-13 GradeModel

GradeModel では、同じ断面変化要素（幅、高さ、勾配）でも対象とする区間定義が異なる場合、繰り返して断面変化要素を記述しなければならない。

一方、B パターンは、車道などの断面要素ごとに断面変化要素を定義できる。日本でよく使われる勾配表記 (1:X) も使用できる。B パターンの方が、より効率的で柔軟な情報定義が可能である。

(3) 設計基準要素

設計基準要素とは、道路形状構造が基本性能要件を満足しているかどうか検証するための情報項目である。構造物の基本性能要件は、各種基準類によって定めら

れている。たとえば、道路構造令では曲線半径、緩和曲線、視距の確保、排水勾配など、道路が正常な機能を果たすための基準が定められている。道路土工指針では、小段の設置間隔、法面の安定勾配など、法面が正常な機能を果たすための基準が定められている。道路の形状構造が、設計基準を満足しているかどうかを検証することで、構造物の性能評価（検査）を自動的に行うことができる。そのため、基本設計情報は、形状構造と設計基準要素を合わせてデータ交換すべきである。

道路構造令で定められる設計性能要件には、次の項目がある。

- ・道路の区分と設計速度
- ・横断面の構成
- ・線形および視距
- ・平面交差
- ・土工、舗装および道路構造物

設計基準要素では、土木構造物が果たすべき設計上の技術的制約を記述し、設計、施工段階で技術的制約情報を参照することで、設計内容や施工結果を照査する。

たとえば、設計速度80km/hの道路における最小曲線半径の幾何構造基準値は、表-1のようになる。幾何構造基準値は、形状構造要素の道路平面線形で表されているパラメータと比較することができる。従って、設計で示される道路平面線形が必要な性能を保有しているかどうかのチェックができる。同様に、施工時の出来形計測結果に基づいて完成形状を作成することにより、工事完成形状が設計基準を満足しているかどうかチェックすることも可能となる。合わせて、当初設計のとおり視距が確保されているかなどを、完成形状と設計基準を比較し、計算により検証することも期待できる。

表-1 道路構造令幾何構造基準値  
(V=80km/hの場合)

項目		V=80Km/h 基準値
最小曲線半径 (m)	標準値	280
	特例値	230
	望ましい値	400
最小曲線長 (m)	標準値	1000/θ
	特例値	140
最小緩和曲線長(m)		70
緩和曲線の省略半径(m)		2,000
片勾配・拡幅のすりつけ率		1/150
視距(m)		110

#### (4) 拡張（発注、施工管理）情報

拡張情報は、基本情報にない情報を追加することで、目的別に土木技術者が業務で必要とする情報を自由に定義できるとともに、ムダな情報の定義を回避するものである（図-14）。

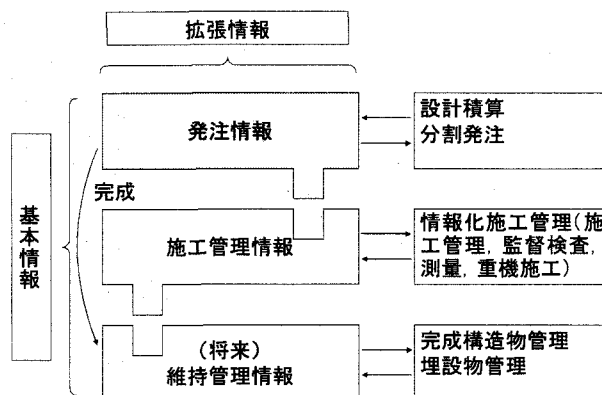


図-14 3つの拡張情報の関係

「発注情報」では、発注者が分割発注、設計変更等を効率的に行うことを想定している。分割発注を行う際は、工事範囲を示す情報を追加して定義することで、分割発注区間を示す（図-15）。具体的な設計情報は、基本情報で定義されている形状構造要素などをもとに計算する。分割発注（工事範囲）区間は道路平面線形座標系の距離Lと横断形状要素で規定する。

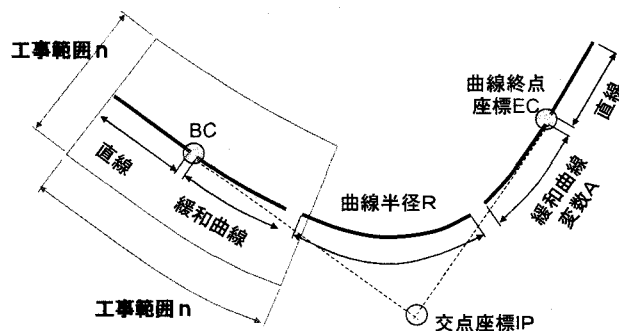


図-15 発注情報の概念図

また、設計変更は元設計、変更設計などの属性を拡張することで、発注情報の履歴を示すことができる。設計変更の際には、設計基準で示される性能を満足する範囲で形状の修正を許容する。また、形状要素の修正に伴い矛盾なく関連する一連の形状の変更を行う。

発注情報の更新履歴は、設計形状構造の各要素について、どの部分を変更したかを残すことで実現できる。設計変更の一例として、断面定義（Bパターン）の事例を述べる。累加距離方向に並べた標準断面形状の変化の履歴を、距離と寸法値の表として整理することで、



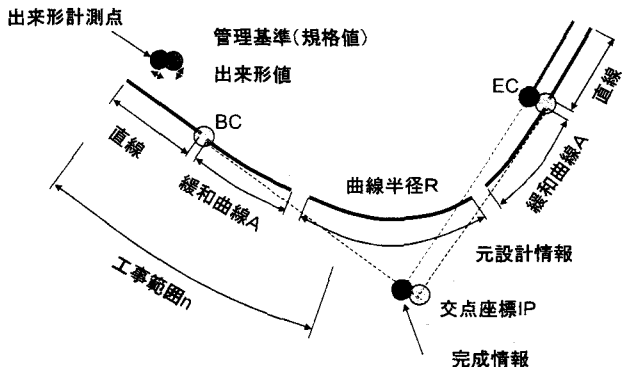
土木技術者は、図面の修正に手間をかけることなく簡単に断面形状の条件を修正できる（図-16）。

追加距離	舗装		法面	
	舗装1	路盤1	法面1	小段1
10	d=0.05 W=5 i=2%	W=5 d=0.25	H=3 X=0.6	H=3 W=1.2
20	i=2% W=5	W=5	H=3.5	H=3.5 W=1.0
30	i=4% W=6	W=6	X=0.7 H=4	H=4 W=0.9
40	i=4% W=6	W=6	H=6 X=0.8	

1) 追加距離18mにおける横断構成要素(舗装:W=5,d=0.05,i=2%)(路盤:W=5,d=0.25)  
去面:H=3,X=0.6)(小段:H=3,W=1.2)

図-16 断面定義 (Bパターン) の形状構造の事例

つぎに、「施工管理情報」では、丁張り設置と出来形管理、完成図作成に必要な情報を扱う。丁張り設置に必要な情報は、基本設計情報の基本座標系と形状構造要素に関する各寸法値(パラメータ)である。出来形管理ができるような施工管理情報は、出来形計測値、出来形管理基準、完成情報である(図-17)。施工管理情報を元にして、検査に必要な出来形管理図表をコンピュータを用いて作成することができる。



設計仕様要素

道路構造令幾何構造基準との検証(視距, 曲率半径, 緩和曲線等)

図-17 施工管理情報の事例

また出来形検査結果を活用して寸法値(長さ, 高さ, 位置, 半径などのパラメータ)を, 求められる完成図の精度(現地と位置形状が一致する正確さの程度)に達するまで修正することで, 構造物の完成情報を安く簡単に作成できる(図-18)。

本研究では, まだ「維持管理」を対象としていない。しかし, 完成情報を元に道路構造物や埋設物情報を統

合することで3次元的に構造物を管理できる。

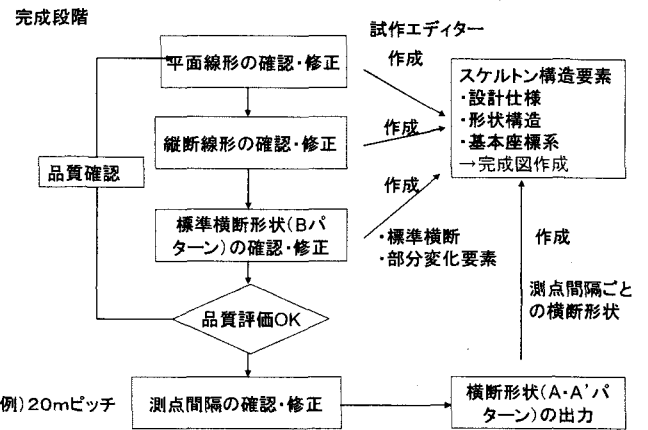


図-18 完成図の作成手順

3. LandXMLの拡張による基本設計情報の作成

基本設計情報の概念を, コンピュータ上で表示, 計算できるように, 実際の電子情報を用いて情報構造を定義した。このとき, 情報構造のモデルを作成するのに, LandXML Ver. 1.0を参考にした。LandXMLは, LandXML.orgが測量, 設計分野におけるデータ交換のために開発した情報構造の体系である。本研究では, 発注段階の業務改善や施工管理に活用できる情報構造を定義するために, LandXML Ver. 1.0の構造体系を活用し, 不足する情報項目の追加を行った。

LandXMLの仕様に対応して作成した基本設計情報を「スケルトンスキーマ(Skeleton-schema)」と呼ぶことにする。この中で断面定義(Bパターン)に準拠した横断定義要素「CrossSections」要素を追加した(図-19)。

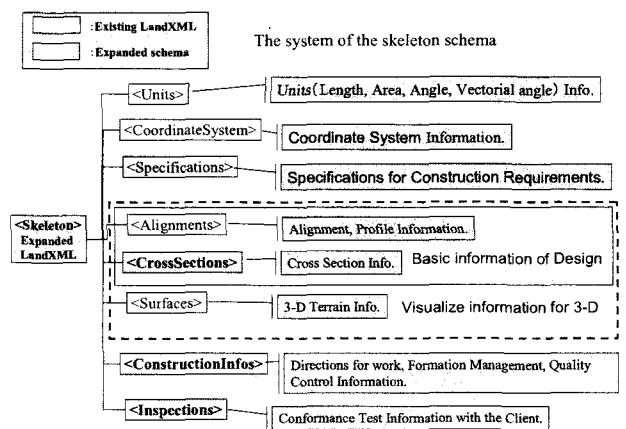


図-19 スケルトンスキーマの事例

「CrossSections」要素には, 設計変更が容易な横断幅員パラメータ, 勾配, 高さを記述する。

さらに, 設計基準要素に対応して「Specifications」

要素を追加，施工管理情報に対応して「ConstructionInfos」要素，「Inspections」要素を追加する。「Specifications」要素は，道路構造令幾何構造基準値，出来形管理の規格値など制約となる基準値を記述する。「Inspections」要素は，出来形を計測した結果を記述する。

#### 4. 基本設計情報を用いた設計手法の実装

LandXML を拡張したスケルトンスキーマを市販の CAD で処理できるようにするための拡張ライブラリを開発した。ここで，LandXML を取り扱うことができる 3 次元 CAD として，Civil 3D 2005(Autodesk inc.)と koishi-3D(株)コイシの改良版(国総研作成)を使用した。開発にあたっては，CAD に依存しない共通のモジュールを，プラグイン方式で追加した。共通モジュールを CAD にインストールすることで，CAD システム側の開発コストを最小限にとどめ，スケルトンスキーマに対応した XML ファイルの編集，入出力，必要な計算，表示を行うことができる。

図-20は，Civil 3D 2005 に XML ファイルを読み込ませて平面図を表示させたものである。この平面図は基本設計情報の B パターンに対応した形状構造から座標値を計算して表示したものである。このとき，地表面と設計断面が交差する点を計算して，設計と地形の境界線を生成し表示している。また，CAD の図面データに変換されているので，DXF,DWG,SXF P21 などの形式で交換することも可能である。

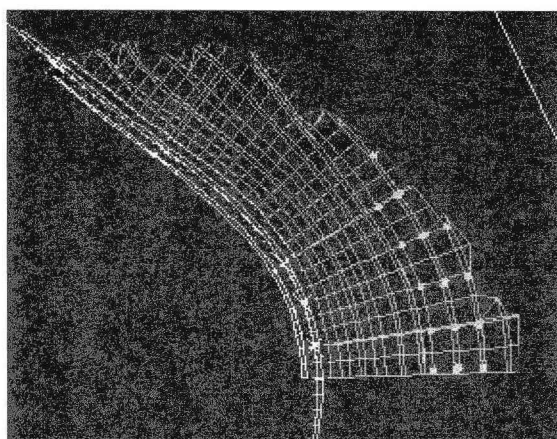


図-20 スケルトンスキーマに対応した形状構造を表示した事例 (Civil 3D 2005)

図-21は，同じスケルトンスキーマに従って記述されたデータを用いて，koishi-3D の改良版に読み込ませて立体的に表示したものである。使用した B パターンの設計断面はのり面，小段などの勾配が，土質の状態に応じて微妙に変化する事例である。スケルトンス

キーマは，このような複雑な設計断面でも設計形状の定義が単純なため，簡単にデータの作成，表示ができる。さらに，XML ファイルを編集できるエディターで設計パラメータを修正することにより，自由に編集できる。

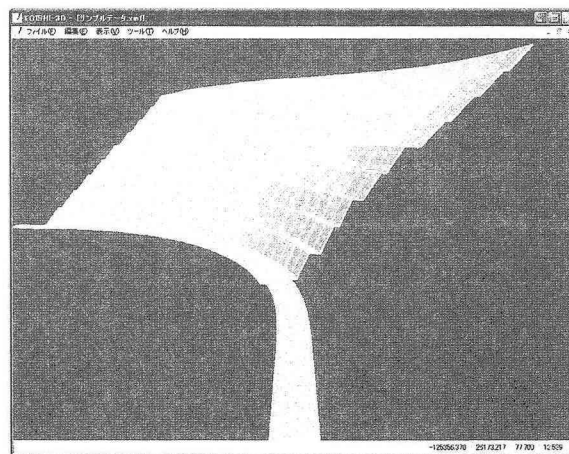


図-21 設計・施工 (完成) 情報のイメージ

スケルトンスキーマに従ったデータファイルサイズは，表-2のとおりである。A パターンで XML ファイルにした場合の設計形状情報を比較すると，B パターンでは7分の1のサイズに縮小することができた。

表-2 データファイルサイズの比較表

		スケルトンスキーマ	
		断面定義 Aパターン (5mピッチ)	要素定義 Bパターン
ファイルサイズ	設計形状	117KB	16KB
	施工管理 情報	12KB	12KB
	地形	2,483KB	2,483KB
	計	2,612KB	2,511KB

※1 車線ランプ (L=140m) ，地形データ含む場合

今回の試算結果では，対象規模が小さい (L=140m の1車線ランプ) ため，Aパターン・Bパターンともに設計形状・施工情報のファイルサイズも小さい。ただし，実際の施工現場では，区間延長が長く多車線のケースも多い (ファイルサイズも大きくなる) ため，Bパターンの適用によるサイズ圧縮の効果も期待できると考えられる。従来型のデータ (DXF 等) では，3次元形状のほか線種・色等の描画用の情報等，様々な情報を含むため，ファイルサイズが過大となるが，測量機器との情報交換などにおいては，本研究のBパターンの適用によるサイズ圧縮が有効である。

スケルトンスキーマに従った XML ファイルは、CAD システムだけでなく測量機器でも利用することができる(図-22)。ただし、本研究では、論文執筆時点で直接 B パターンに対応した測量機器がなかったため、B パターンを基に測量機器で利用可能な形式で情報を出力できるシステムを開発している。測量機器は WindowsCE のような携帯端末向け OS を採用したコンピュータで管理されることが多く、扱うデータサイズは小さい方が好ましい。

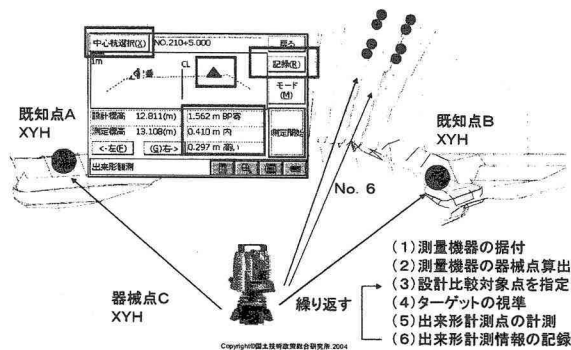


図-22 トータルステーションを用いた出来形管理

スケルトンスキーマは、出来形管理情報にも対応している。図-23は、測量機器で計測された3次元の出来形計測値を用いて、設計形状と比較して3次元的に出来形の完成程度を確認できるものである。

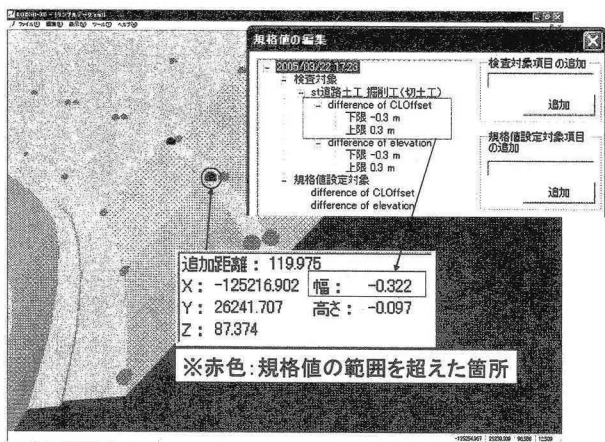


図-23 出来形管理ソフトの表示例

## 5. 研究結果と考察

基本設計情報のスケルトンスキーマに対応したアプリケーションを開発することにより、次のような結果が得られた。

(ア) XMLによる基本設計情報の定義が可能。

(イ) 設計段階の座標データ(座標系含む)を有効活用可能。

(ウ) コンパクトなデータサイズ

(エ) きめ細かな断面定義が可能(Bパターン)。たとえば曲線部における連続的な道路横断勾配変化や土質状況に合わせたのり面勾配の変化に対応できる。

(オ) 市販 CAD と測量機器の間でデータ交換可能(LandXML)。

なお、本研究では分割発注、設計変更、完成図作成に対応したアプリケーション開発までは行っていない。

本研究成果は、以下のように評価することができる。

(ア) 正確さと柔軟性のある、コンパクトな設計手法の開発ができた。ただし、道路土工に限る。

ここで、JHDM と本研究における基本設計情報との違いは、前者は要素が変化する毎の断面の情報(Aパターン)を基本とし、法面等の一部については3次元の幾何形状を独自に有するのに対し、後者は要素定義(Bパターン)により形状構造を全て表現する点である。

また LandXML Ver. 1.0 との違いは、GradeModel の要素定義をより効率的に行えるように拡張し、かつ任意の断面で横断面図を作成し、3次元的に表示が出来ることである。さらに、平成 17 年 5 月現在で LandXML Ver. 1.1 の素案が提案されており、横断面の定義「CrossSects」が追加されている。LandXML Ver. 1.1 と基本設計情報との違いは、前者が A パターンだけに対応しているのに対して、後者は B パターンにも対応できる。

(イ) 設計段階の座標系、座標データを有効活用できた。

(ウ) 現場の要求に応えるきめの細かい、複雑な設計情報を(Bパターン)を交換できた。現地合わせなどの微妙な形状についても設計、施工段階で調整可能である。

(エ) 既存 CAD, XML による設計データに比べてデータサイズの縮小ができた。

(オ) 発注情報、施工管理情報に対応した属性を追加することで、分割発注、設計変更、完成図の作成が容易になる。

スケルトンスキーマを活用することにより、様々な業務改善効果が期待される。

・ユニットプライスのような設計積算方式と併せて用いることで、積算業務を簡素化できる。

- ・数量分割を容易にすることで、工事の分割発注に要する時間を簡素化できる。
- ・重機、測量機器などと連携しながら、施工段階で活用することができる。
- ・維持管理に必要な完成台帳付図の作成費用、GISデータ作成費用を削減できる。

今後の課題は、以下のとおりである。

- (ア)設計基準を参照して設計条件をチェックする。
- (イ)パラメトリックな設計手法を他工種（舗装、地下埋設物）へ応用。
- (ウ)発注情報、施工管理情報に対応した属性を追加し分割発注、設計変更情報の作成。
- (エ)Bパターンを活用した属性情報付き完成図の作成。
- (オ)多方面の意見を聞くことで、標準的なデータ交換形式を策定(SXF Ver. 3, Lv4, IFC・IFG<sup>4</sup>)の拡張。

## 6. 結論と今後の課題

本研究によって、次の結論が得られた。

- (ア)パラメトリックな設計手法により、正確さと柔軟性のある、コンパクトな基本設計情報を定義できた。
- (イ)基本設計情報を用いることで、設計段階の座標データを施工現場で有効活用できる。
- (ウ)座標データを用いるためには、座標系を一体として交換する必要がある。
- (エ)土質状況に合わせたのり面勾配の変化など現場の要求に応えるきめ細かい複雑な設計情報を定義し、CADと測量機器の間でデータ交換が可能。
- (オ)基本設計情報の概念を共有することで設計データサイズの縮小が可能。

本研究において、形状構造要素、設計基準要素、基本座標系要素を定義することにより、正確さと柔軟性のある、コンパクトな基本設計情報の構築を行うことができた。

今後の課題は、基本設計情報を用いて1)設計基準によるチェックを行うこと、2)舗装工・地下埋設物など他工種への応用、3)分割発注・設計変更の容易性の実証、4)属性情報付き完成図の作成、5)標準化への提案である。

## 謝辞

本研究を進めるに当たって、国土交通省国土技術政策総合研究所青山主任研究官・松岡研究官・田中研究

官・阿部研究官、(独)土木研究所先端技術チーム、国際航業(株)、(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所、(株)大林組、(株)トプコン、(株)ニコソ・トリンプル、(株)フォーラムエイト、(株)コイシ、福井コンピュータ(株)、コマツエンジニアリング(株)、日本測量機器工業会など多くの方々に助言を頂いた。この場を借りてお礼を申し上げる。

## 参考文献

- 1)公共事業支援統合情報システム  
(<http://www.mlit.go.jp/tec/it/cals/index.html>)
- 2)日本道路公団試験研究所:Japan Highway Data Model 概要書(案), 2005
- 3) LandXML.org:<http://www.landxml.org>
- 4) IAI: <http://www.iai-japan.jp/>
- 5) 蒔苗耕司: パラメトリック曲線を用いた3次元道路線形の応用, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部, pp.496-497, 1998
- 6) 蒔苗耕司: 道路線形の関数表現を用いた道路設計情報モデルの構築とその実装, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, I-25, 2004
- 7) 有富孝一, 松岡謙介, 上坂克巳, 奥谷正: 3次元設計情報を用いた出来形管理技術の提案, 建設マネジメント研究論文集,(社)土木学会 建設マネジメント委員会, Vol.11, 81~90, 2004
- 8) 有富孝一: ITを活用した施工管理の業務改善. 第21回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集:土木学会建設マネジメント委員会, pp.147-150, 2003
- 9) 高度情報化研究センター情報基盤研究室, 共同研究者(株)大林組,(株)トプコン,(株)小松製作所: 建設施工における空間情報の取得利用に関する研究, 国土技術政策総合研究所共同研究成果報告書, 2005

(2005.5.20 受付)